

运载火箭出厂测试状态控制优化技术研究

Research on Optimization Control Technology in the Launch Vehicle Ex-works Testing State

首都航天机械公司 郭莹 何薇 郝旻 孙靖 李万利 高琪 曹萌

[摘要] 运载火箭出厂测试是火箭质量保障的最后一道关卡,现有火箭出厂测试技术在质量控制水平与测试效率方面均与现代运载火箭生产的信息化、自动化、智能化需求不成一体。运载火箭出厂测试状态控制优化技术将原有的以人工干预为主导的测试技术自动化,通过对测试状态的自动计算、梳理与分配,有效代替了人为的状态梳理,在确保运载火箭出厂测试质量的同时,大幅提升了火箭出厂测试效率。

关键词: 运载火箭 测试 质量控制 优化

[ABSTRACT] The launch vehicle ex-works testing is the final stage of the quality assurance. The existing quality assurance level and testing efficiency could not assort with the requirement of informationization, automation, and intelligence. The optimization control technology which could automatically compute, analyse, and distribute the testing stage, instead of artificial manipulation, advanced the efficiency and insured quality in the ex-works testing.

Keywords: Launch vehicle Testing Quality control Optimization

运载火箭出厂测试是火箭出厂前的最后一道质量关卡,在产品质量控制过程中起着举足轻重的作用。运载火箭出厂测试是对箭上各电气系统进行功能检查和性能测试,其测试项目分为箭上阻值测试、分系统测试、系统间匹配测试和总检查测试。箭上阻值测试是检查箭上仪器电缆主要供电线路的导通绝缘性能;分系统测试是火箭各分系统检查系统内部的匹配性和系统的性能指标;系统间匹配测试主要检查分系统之间的相互协调性;总检查测试主要模拟火箭各种飞行状态,检查火箭电气系统的工作(图1)^[1]。

测试项目的状态控制是运载火箭出厂测试的重点工作,是测试产品质量控制过程关键环节。以往运载火箭出厂测试中,此项重点工作基本依靠工艺人员按照技术文件,针对每个测试岗位进行状态检查项目的划分。人工划分测试状态不仅时间长、效率低,而且在某运载火箭高密度生产以及测试项目经常变化的情况下,存在

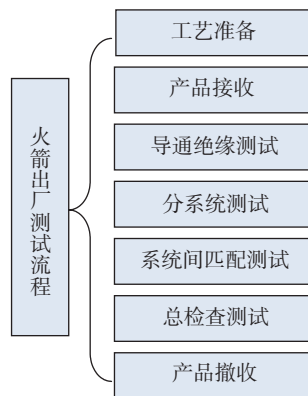


图1 运载火箭出厂测试流程图

Fig.1 Flow chart of the launch vehicle ex-works testing

较大的质量隐患。

为了确保某型号运载火箭高密度生产的顺利完成,保证测试状态的正确性,对该型号运载火箭出厂测试状态控制进行优化并在该系列运载火箭出厂测试中进行验证与应用。

1 某型号运载火箭出厂测试状态控制技术现状

1.1 运载火箭出厂测试状态控制方法存在薄弱环节

(1) 运载火箭出厂测试过程中,各项目测试前必须进行测试状态准备以及正确性检查,以保证箭上仪器、电连接器、专用测试设备、测试软件等技术状态的正确性。状态检查确认要求在质量控制记录中的状态检查表明,此过程需要测试人员按照技术文件,针对每个测试岗位进行状态检查项目的划分,人为的状态划分增加了状态控制的出错率。

(2) 技术文件中的测试流程规定了测试项目的顺序,前后两个测试项目之间的测试状态相互关联。技术文件虽对每个测试项目与前一个测试项目状态的差别明确了具体的操作内容,但没有明确每个测试项目独立完整的测试状态。

随着运载火箭高强密度发射任务的到来,运载火箭出厂测试数量成倍增加,出厂测试流程时常因增加测试内容而发生变化,例如第二轮出厂测试、备份产品测试、

故障排查等,这些增加的测试项目基本达到整个出厂测试项目的 50%,2011 年某型号运载火箭增加测试项目统计见表 1。因此,需要增加大量的时间和人员进行这些增加的测试项目工作,其中最为重要的就是确定增加测试项目的状态,确保测试正常进行。然而增加测试项目与测试流程中测试项目的测试状态相互不关联,测试项目完整的测试准备状态需要重新梳理、确认(图 2),此过程不仅需要大量时间进行状态梳理工作,且完全由人工进行,因此是出厂测试工作中质量控制较薄弱的环节之一,一旦发生状态确认的错误,轻则出现测试结果无效,严重时可能造成仪器、电缆的损坏。

表1 2011年某型号运载火箭增加测试项目

| 第二轮出厂测试增加项目 | 备份产品增加项目 | 故障排查增加项目 | 梳理增加测试项目状态的工作时间/min |
|-------------|----------|----------|---------------------|
| 12 | — | 5 | 170 |
| 12 | — | 8 | 200 |
| 12 | 2 | 10 | 240 |
| 12 | 5 | — | 170 |
| 12 | 10 | — | 220 |
| 12 | 12 | 6 | 300 |
| 12 | 5 | — | 170 |

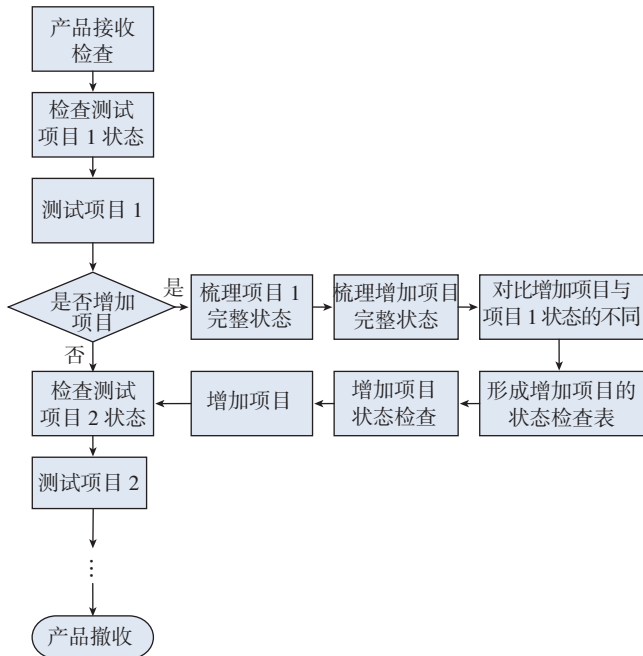


图2 增加项目流程图

Fig.2 Flow chart of the added testing program

1.2 运载火箭出厂测试指挥程序控制方法不完善

对某型号运载火箭出厂测试,系统指挥通过调度通信系统下达操作口令,岗位测试人员按照指挥口令进行

操作,完成测试项目的开始和结束、设备的加电、断电和设备变更的状态控制,完成系统间的协调调度。

系统指挥人员掌握各岗位的测试现象及测试状态,通过各岗位人员进行汇报,而掌握各岗位状态、现象是否正常,是否满足技术文件要求,是指挥人员下达下一条口令的必要条件。各岗位人员要掌握当前测试阶段或测试项目等内容,只能依靠指挥人员下达的口令,而掌握测试阶段和测试项目是岗位人员观察箭上产品动作,观察地面设备现象的基础。指挥口令在测试过程中是各岗位人员传达信息、沟通协调的唯一途径,此项工作自动化程度较低,大部分口令下达的时间、条件需要测试人员进行判定。注意事项、紧急预案没有与测试流程相融合,一旦发生紧急情况,可能会出现紧急处理工作不及时、不合理的现象。

综上所述,运载火箭出厂测试状态生成与指挥流程方法分别采用人工整理、划分与判断的方式,无论在信息化水平、工作效率还是质量控制水平方面均与现代运载火箭生产的信息化、自动化、智能化不成一体。运载火箭测试状态自动生成与自动化指挥程序是测试技术发展的趋势和基础,基于 PPS 工艺设计系统,搭建测试状态自动化生成平台与自动化指挥程序平台,形成火箭出厂测试状态控制优化技术,可提升出厂测试技术的整体水平。

2 运载火箭出厂测试状态控制优化技术研究的主要内容

通过运载火箭出厂测试状态控制优化技术的研究,构建运载火箭测试状态控制系统,具体开展如下研究工作。

2.1 测试状态自动生成平台的研究

(1) 分析测试项目状态数据。

依据某型号运载火箭出厂测试技术文件中规定的测试流程,梳理出每个测试项目。针对每个测试项目,按照测试流程中规定的操作内容及测试项目间测试状态的关联性,分析、确定每个测试项目完整的测试准备状态,建立每个测试项目完整测试准备状态单元^[2]。

(2) 岗位测试状态模板的研究。

针对出厂测试每个岗位的不同工作内容,将测试项目完整的测试准备状态单元分解成具体岗位号手的测试状态准备的检查确认内容。研究测试状态模板格式,将岗位测试状态形成电子化的模板。图 3 为某型号运载火箭出厂测试控制系统所包含的岗位模板。

(3) 测试状态自动生成平台方案的研究。

研究、确立测试状态自动生成平台方案(图 4),使之具备以下功能:

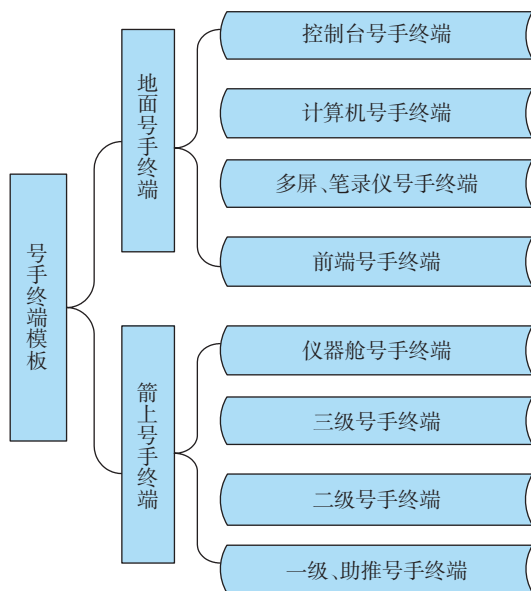


图3 控制系统岗位模板示意图

Fig.3 Schematic diagram of the control system position template

岗位状态自动划分功能。能够将出厂测试所有测试项目按照不同岗位进行自动划分,形成各岗位独立的状态检查内容。

增加项目测试状态自动生成功能。在测试流程中增加测试项目后,经输入上一项测试项目和增加测试项目,依据设计下发的通知单内容,系统自动生成增加测试项的完整状态,与当前测试项完整状态进行自动比对后,排除相同状态内容,形成增加测试项目的状态检查内容^[3]。

(4) 研究测试状态自动生成平台软件及输出格式。

依据方案提出的要求,研究测试状态自动生成平台软件,并且制定适合出厂测试的状态检查表格格式,格式如表2所示。

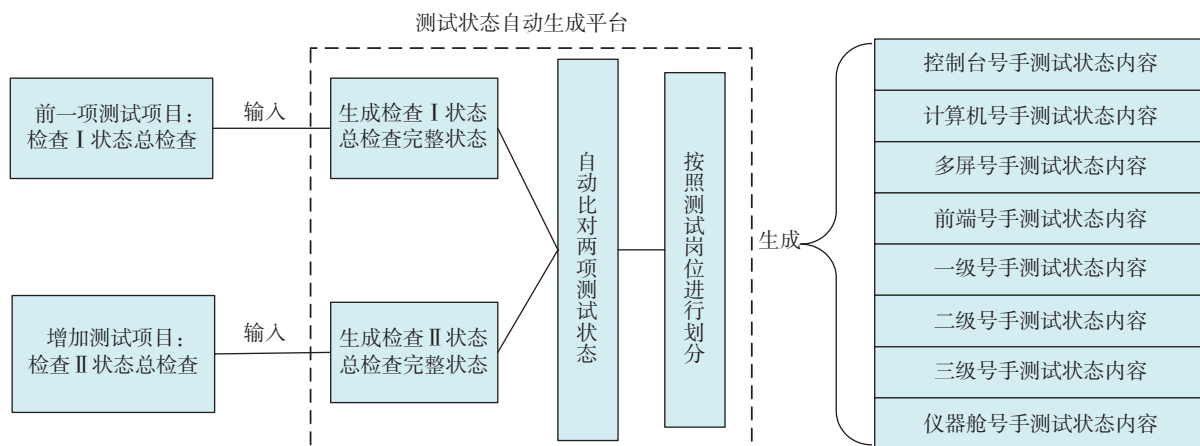


图4 测试项目状态自动生成平台方案

Fig.4 Automatic generation platform of testing project status

表2 状态检查表

| 号手 | 测试说明 | 检查对象 | 状态描述 | 状态要求 | 备注 |
|-----|----------|------|---------------------------------|------|----|
| 123 | 将测试插头连接好 | XXX | (1) 插头、插座外观良好; (2) 插头、插座连接正确 | 连接 | |
| 124 | 断开测试连接插头 | YYY | (1) 插头插针无损伤; (2) 插头、插座无多余物 | 断开 | |

2.2 自动化指挥程序平台的研究

(1) 分析测试指挥程序相关数据。

梳理某型号运载火箭出厂测试指挥口令下达条件、注意事项、应急预案等。研究、分析指挥口令下达条件、注意事项、应急预案与测试流程、指挥程序之间的关联点。

(2) 自动化指挥程序平台方案的研究。

研究自动化指挥程序平台方案,使之具备同步显示本阶段的测试流程、状态现象、注意事项。根据测试需要跳转至应急预案。

以电子化指挥程序为基础,通过专用软件,实现在指挥人员及岗位测试人员的计算机终端上显示当前测试口令、动作现象、注意事项及紧急预案。指挥人员可通过显示终端掌握各测试终端状态,在第一时间明确当前口令下各岗位的操作内容、现象内容、注意事项内容。当测试出现异常时,指挥人员可手动跳转到应急预案流程,通过显示终端查询到当前的紧急处理措施,并按其具体步骤做出应急处理,从而有效、及时保证产品的测试质量。其他岗位人员能够通过本岗位显示终端实时掌握当前的测试信息^[4]。

(3) 自动化指挥程序平台软件的研究。

研究自动化指挥程序平台软件,实现同步显示本阶段的测试流程、注意事项、应急预案,确保口令下达的准确性、及时性,辅助指挥人员正确开展出厂测试工作,及

时处理紧急情况。

流程表格式如表 3、表 4 所示。

表3 加电流程表

| 口令 | 号手 | 操作设备 | 操作内容 | 指示设备 | 灯亮 | 灯灭 | 屏幕显示 | 备注 |
|------|-----|------|------|------|----|----|------|----|
| 启动电源 | 120 | XXX | 接通电源 | XXX | | | | |
| 断开电源 | 120 | XXX | 断开电源 | XXX | | | | |

表4 应急预案流程表

| 口令 | 号手 | 操作设备 | 操作内容 | 指示设备 | 灯亮 | 灯灭 | 屏幕显示 | 备注 |
|------|-----|------|------|------|----|----|------|----|
| 紧急断电 | 120 | XXX | 断开电源 | XXX | | | | |

3 解决的主要技术问题

(1) 制定和规范电子化的总体测试表格。

运载火箭出厂测试状态控制系统作为火箭出厂测试的辅助系统,系统内基础数据是正确有效的。系统建设前期,对基础数据的梳理是一项量大、易错且繁琐的工作。数据梳理完成后,录入至测试系统,而数据录入的唯一途径是通过 PPS 工艺设计系统。

系统开发前期,以某型号火箭出厂测试为应用对象,对该型号火箭出厂测试状态与流程进行全面梳理。梳理过程中,针对总体测试的特殊性,参照现有测试表格,配合 PPS 系统开发人员制定适用于总体测试的 4 类表格,分别包括状态检查表、加电流程表、弹(箭)上仪器明细表、应急预案表格,为该型号火箭出厂测试基础数据梳理工作制定了有效的编辑环境。同时,针对每一种工艺表格,分别量身定制了与之相适应的 EXCEL 应用表格,使得数据能够批量上传,为后期正确高效地完成数据采集工作奠定了良好的基础。在 PPS 工艺设计系统中,通过调用 4 类表格进行基础数据采集,形成有效的测试工艺规程,最终读入火箭出厂测试状态控制优化系统。

(2) 测试状态优化控制技术与 PPS 工艺设计系统的统一。

PPS 工艺设计系统是测试状态控制优化技术研究的数据来源,测试工艺人员依据设计文件,在 PPS 系统中编辑生成测试工艺规程,规程签署完整生效后,PPS 系统自动生成唯一文件编号,见图 5。在测试系统中的工艺导入中输入该文件编号,即可将工艺文件的内容导入测试系统,如图 6 所示,从而实现 PPS 工艺设计系统与运载火箭出厂测试状态控制系统的无缝连接,为运载火箭出厂测试的无纸化办公奠定了基础。

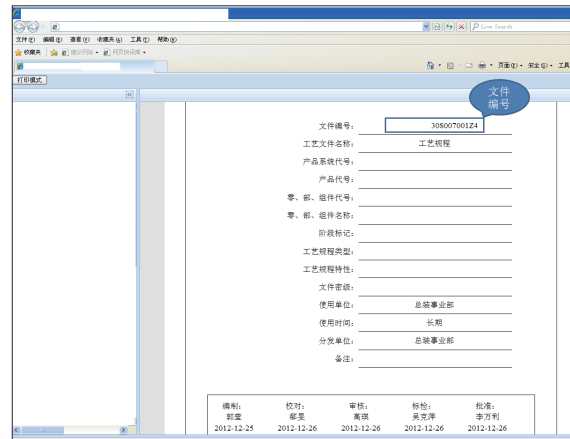


图5 PPS设计系统测试工艺规程

Fig.5 Testing procedure of PPS design system

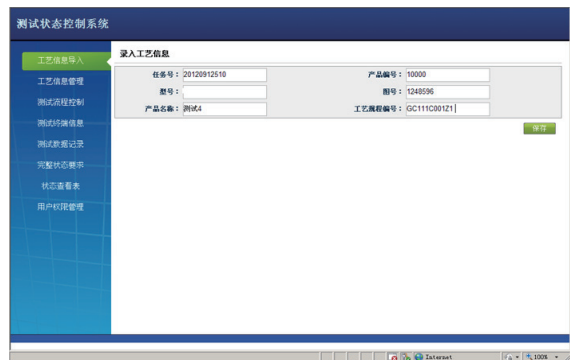


图6 工艺信息导入填报

Fig.6 Import process information

(3) 质量过程控制通过刷卡确认。

测试状态控制优化技术对测试质量过程控制严格把关,号手、指挥、检验分别对每一道工序的状态准备内容进行确认,确保状态无误后保存状态内容,进行刷卡操作。系统指挥控制终端判断所有终端号手、指挥、检验都进行刷卡确认操作后,指挥通过指挥终端界面操作,程序方可进入自动化指挥测试流程。

自动化指挥程序平台显示当前火箭加电测试流程,各终端分别显示指挥口令,指挥终端进行操作,控制整个流程进度。对含有测试子项目的工序,完成每一项子项目后,各号手、指挥、检验都进行刷卡确认操作。3 方确认完成后,方可继续后续测试。

在状态查看菜单中,通过“综合查询”功能,查看测试流程控制记录。包括查询每一工序,或工序中所有子项目的状态检查与加电流程刷卡记录,保证质量控制无漏洞,如图 7、图 8 所示。

通过刷卡确认与综合查询功能,严格控制测试每一道工序的质量过程,避免了岗位号手替换引起的过程质量控制漏洞。

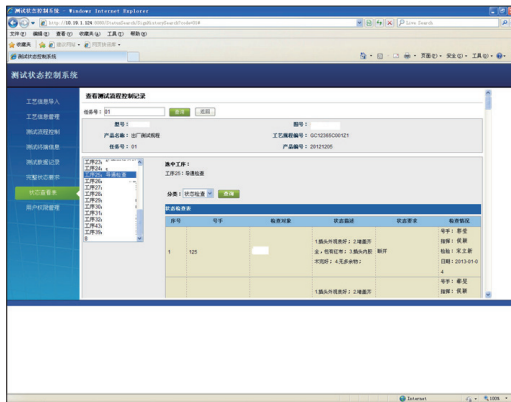


图7 测试状态检查刷卡记录查询界面

Fig.7 Query interface of card records of the testing status

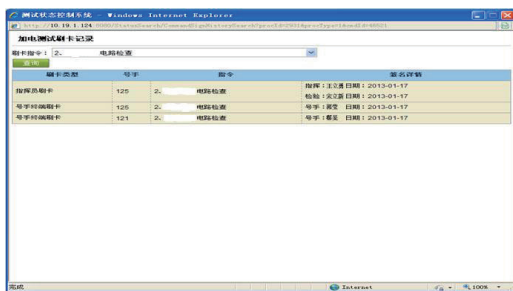


图8 加电测试刷卡记录查询界面

Fig.8 Query interface of card records of electric testing

4 运载火箭出厂测试状态控制优化技术创新与进步

(1) 测试状态自动比对。

在状态自动生成平台上,测试状态通过累加功能,对每一测试工序生成完整状态检查内容,相邻工序或正常与临时工序间进行跳转时,自动比对两个工序的完整状态内容,排除相同检查项,显示状态改变项,将测试检查内容按要求自动分配。

(2) 实时数据可视化应用。

在自动化指挥程序平台上,自动化指挥程序依据测试工艺人员编制的工艺规程,为指挥及各号手终端提示当前测试口令、现象描述与状态动作、应急预案,同时在不同岗位的计算机终端上,实时分别显示各自不同的测试状态信息和指挥程序的内容。

(3) 总测工艺文件内容规范化。

传统工艺文件通过作业层管理文件来保证工艺文件结构及内容的规范性,但是无法避免工艺人员能够完全严格执行。在此项目中,为满足测试工艺精细化管理及工艺数据集成化的要求,对测试项目及状态梳理、测试状态模板划分、指挥程序数据采集等规范化工作的开展,确定了4类符合结构化数据的总测工艺文件,为运载火箭出厂测试基础数据梳理工作制定了有效的编辑

环境,同时避免了人为的疏漏。

(4) 质量过程控制通过刷卡确认。

产品测试状态控制系统对测试质量过程控制严格把关,号手、指挥、检验分别对每一道工序的状态准备内容进行刷卡确认,保证状态检查的有效性和质量可靠性。

5 研究效益

测试状态控制优化技术的应用确保了运载火箭出厂测试的测试质量,同时大大提升了运载火箭出厂测试的生产效率,为高密度生产和发射打下良好的基础。

(1) 确保出厂测试质量。

运载火箭出厂测试状态控制优化技术的应用,大幅提高了出厂测试工艺的可靠性,通过测试控制系统对测试状态的自动计算、梳理与分配,替代原有人为状态梳理,使出厂测试状态生成正确率达到100%;有效避免因状态准备过程中错误导致的测试结果无效,甚至仪器、电缆损坏的现象,从而确保出厂测试质量。

(2) 提高出厂测试效率。

本技术通过对各岗位不同测试状态的梳理和自动分配,有效地减少了人为梳理和分配的时间,火箭出厂测试用于状态检查的时间缩短28.6%,大幅提升了出厂测试状态检查的效率。

该技术首次应用在某型号火箭某发次出厂测试中,状态准备与指挥流程显示正常,各岗位号手刷卡确认过程无误,数据录入计算结果正确。后期可以广泛推广应用于本型号各系统及其他运载火箭型号测试中。

6 结束语

火箭出厂测试质量关系到火箭发射的成败,是总装测试工作中极其重要的一部分,运载火箭出厂测试状态控制优化技术辅助火箭出厂测试,大幅提升测试工作效率,更重要的是杜绝了人为干预造成的质量隐患,是火箭“生命安全”的卫士。

参考文献

- [1] 任江涛,蔡远文,同江. 运载火箭测试发射流程构建与评估方法. 导弹与航天运载技术,2008(6):4-7.
- [2] 李永军,马立元. 数据库在复杂流程测试系统中的应用. 测试技术学报,2003,17(1):47-49.
- [3] 夏克寒,余建华,暴飞虎,等. 导弹测试流程优化系统设计与实现. 导弹与航天运载技术,2012(2):47-50.
- [4] 王桂华,唐登林. 一种导弹总体测试平台的设计与实现. 航空兵器,2010(3): 52-54.

(责编 深蓝)